

**Ausbreitungsfunktion und Haftfähigkeit der Thrombo-
cyten in Abhängigkeit von den physikalischen
Eigenschaften blutfremder Oberflächen**

Dr. med. dent. Jürgen Holl

1963

Aus der I. Medizinischen Universitätsklinik
Frankfurt/Main
Direktor: Prof. Dr. med. F. Hoff

AUSBREITUNGSFUNKTION UND HAFTFÄHIGKEIT
DER THROMBOCYTEN IN ABHÄNGIGKEIT VON
DEN PHYSIKALISCHEN EIGENSCHAFTEN
BLUTFREMDER OBERFLÄCHEN

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades
der
gesamten Medizin
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Johann-Wolfgang-Goethe-Universität
Frankfurt/Main

vorgelegt von
Dr. med. dent. Jürgen Holl
aus Wilhelmshaven

Frankfurt/Main
1963



Dekan: Prof. Dr. W. Krücke
Referent: Privatdozent Dr. R. Heinecker
Korreferent: Prof. Dr. W. Rotter
Mündliche Prüfung: 27. 6. 1963

I. Einleitung

1. Die Bedeutung der Kunst im Leben des Menschen

2. Die Entwicklung der Kunst von der Vorzeit bis zur Neuzeit

3. Die Kunst als Spiegelbild der Gesellschaft

Meiner Mutter

4. Die Kunst als Ausdruck der Individualität

5. Die Kunst als Quelle der Inspiration

6. Die Kunst als Mittel der Erziehung

1917
1918
1919



Digitized by the Internet Archive
in 2026

INHALTSVERZEICHNIS

- I. Einleitung
- II. Beschreibung der untersuchten Oberflächen
und die Bestimmung ihres Oberflächenprofils
- III. Definition der Benetzbarkeit und ihre
Messung mit Hilfe der Photomontage
- IV. Ausbreitung und Thrombocytenanalyse
Methodik und Ergebnisse
- V. Diskussion
- VI. Zusammenfassung
- VII. Literaturverzeichnis

- - - - -

I.

Die Thrombocyten besitzen die Fähigkeit, sich auf geeigneten, blutfremden Oberflächen auszubreiten. Der Thrombocyt, der ursprünglich einen Durchmesser von etwa 2μ hat, vermag sich auf einer derartigen geeigneten Oberfläche bis auf ein etwa Hundertfaches seiner ursprünglich eingenommenen Fläche auszu dehnen, wobei an diesem Vorgang in erster Linie das Hyalomer des Thrombocyten beteiligt ist. Diese Ausbreitungsfähigkeit der Thrombocyten wurde vorwiegend beschrieben von Braunsteiner (2) (3) und Köppel (8). Marx und Mitarbeiter (10) entwickelten ein Verfahren zur Fixierung und Färbung der Thrombocyten auf Zaponlackfolien, die sich ihnen als besonders geeignet für die Untersuchung der Ausbreitung erwiesen hatten. Breddin und Bürck (4) modifizierte dieses Verfahren und benutzten vor allem silikonisierte Glasflächen zur Messung der Ausbreitung. Diese Methode gestattet eine Beurteilung der Thrombocytenfunktion: Sie erwies sich als ein besonders empfindliches Verfahren zur Erfassung von Thrombocytenfunktionsstörungen.

In diesem Zusammenhang ergab sich nun die Frage, von welchen Oberflächeneigenschaften die Ausbreitungsfunktion der Thrombocyten abhängt, zumal es gelang, auch eine Analyse der Thrombocyten an undurchsichtigen Oberflächen mit Hilfe eines besonders entwickelten Folienabzugverfahrens durchzuführen. Diese Arbeit befaßt sich in erster Linie mit den Oberflächeneigenschaften verschiedener Materialien, insbesondere ihrer Benetzbarkeit und Rauigkeit in Beziehung zur Ausbreitungsfähigkeit normaler menschlicher Thrombocyten.

II.

Wir untersuchten elf verschiedene Materialien und legten Wert darauf, möglichst strukturelle Materialunterschiede einander gegenüberzustellen und ordneten sie wiederum in zwei Gruppen: in durchsichtige und undurchsichtige Flächen (dargestellt in Tabelle 1).

Tabelle 1

Durchsichtig

1. Glas
2. Kristallglas
3. Bleikristall
4. Glas, silikonisiert
5. Hostalenfolie
6. Plexiglas

Undurchsichtig

7. Gold
8. Palliag
9. Chrom
10. Aluminium
11. Porzellan

Schwierig gestaltete sich die Bestimmung der Oberflächenstruktur. Für die Rauheitswerte gilt in Deutschland die "DIN", Norm 4762 (5), die als wesentliche Größe die Rauhtiefe "R", die Glättungstiefe "G" und den Mittenrauhwert "Ra" angibt. (s. Abb. 1)

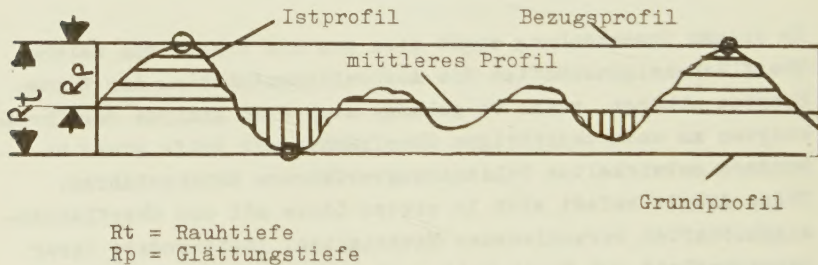
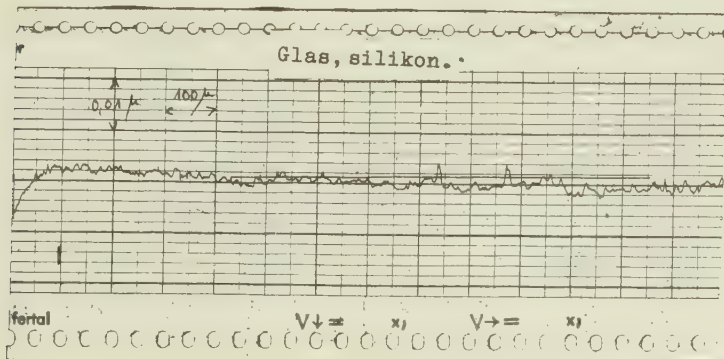


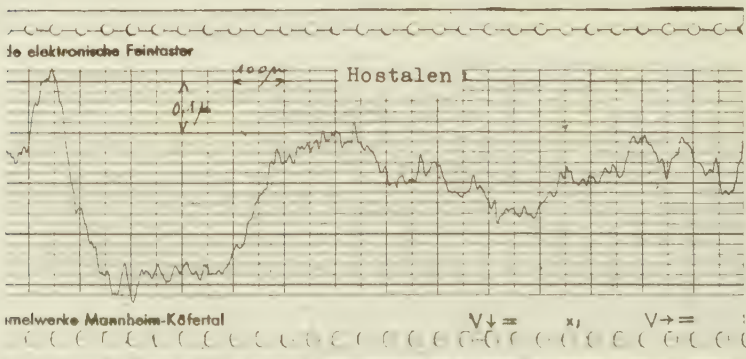
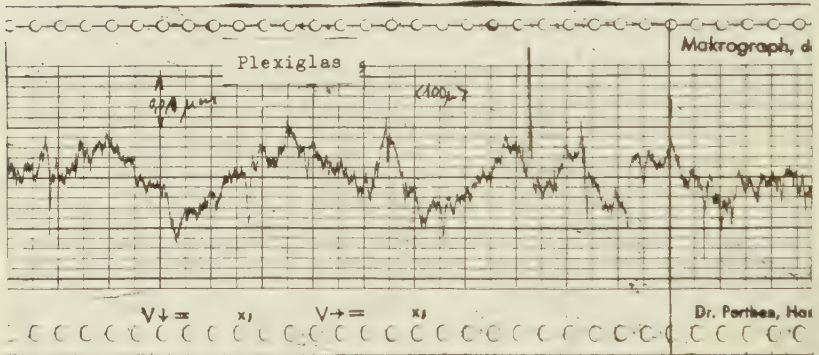
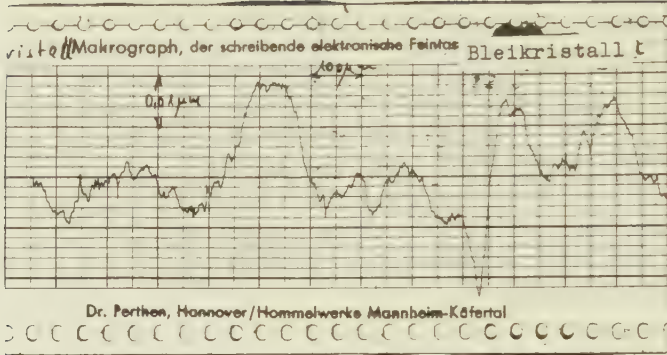
Abbildung 1

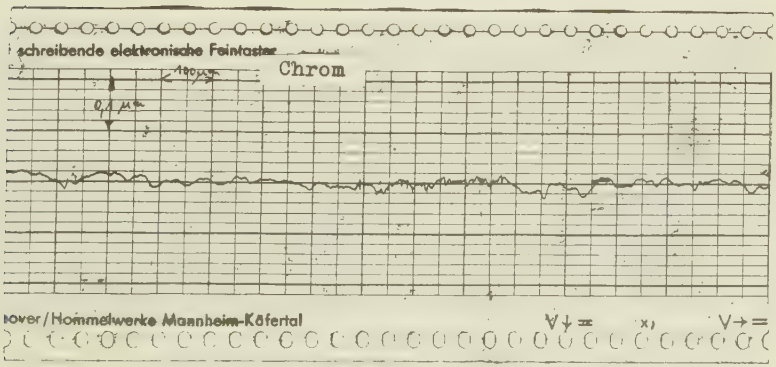
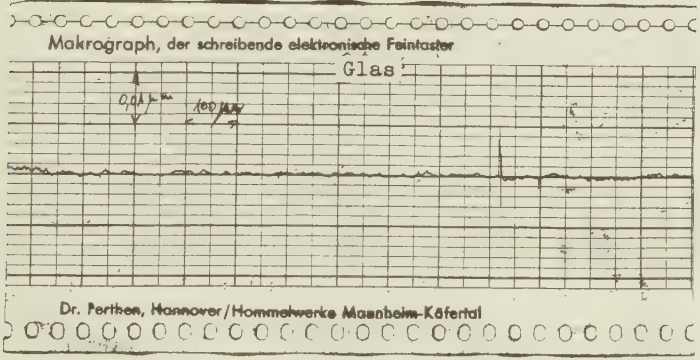
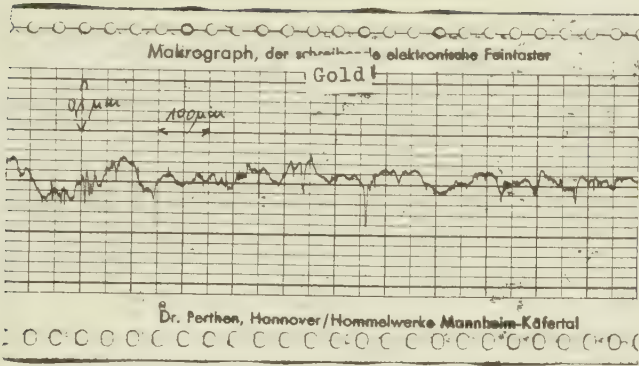
Für die Messung der Rauhtiefe hat die Industrie eine Reihe von Meßgeräten entwickelt. Erwähnt seien das Lichtschnittmikroskop, das Interferenzmikroskop und der Interferenzflächenprüfer, Geräte, die es ermöglichen, mit Hilfe von Interferenzlinien Rückschlüsse auf die Rauhgkeit einer Oberfläche zu ziehen. Für unsere Zwecke kamen diese Geräte nicht in Frage, da nur ein relativ sehr kleiner Teil einer Oberfläche übersehen werden kann.

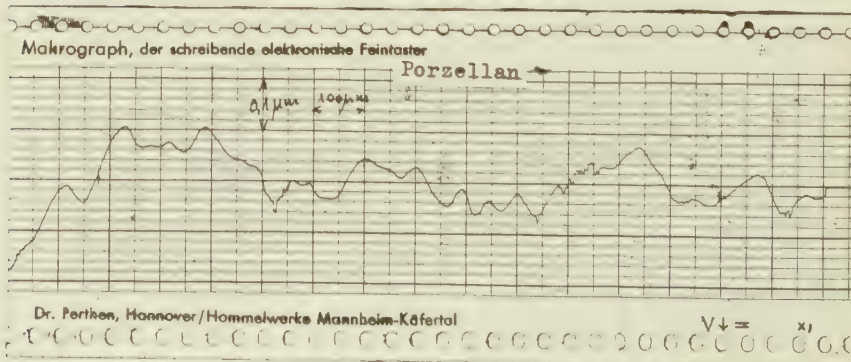
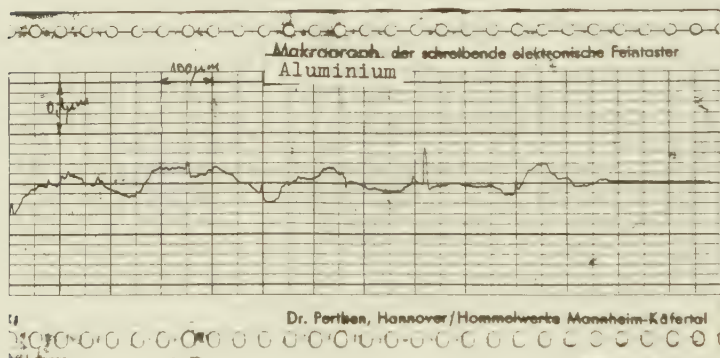
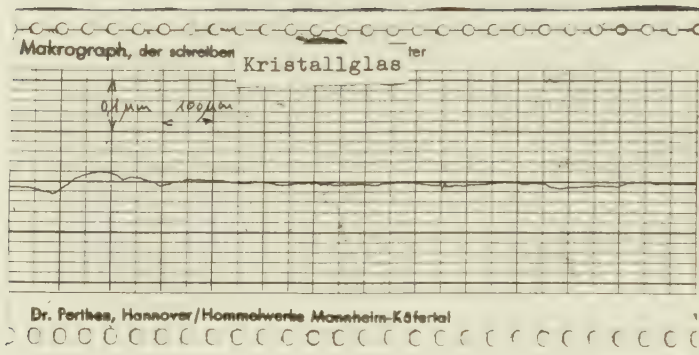
Dagegen ist es möglich, mit Hilfe von Oberflächengeräten - wie sie in der Galvanotechnik verwendet werden - gute und über eine größere Fläche gültige Meßergebnisse zu erzielen. Diese Prüfgeräte - dazu zählen das Perth-O-Meter, das Forster-Gerät, der Brush-Surface-Analyser (USA) und das Talysurf-Gerät (England) - sind für den Laboratoriumsgebrauch am geeignetsten, da sie die Rauigkeit der Oberfläche mittels eines Schreibers auf einem Papierstreifen festhalten (9). So sind richtige Vergleichsmöglichkeiten gegeben.

Für unsere Messungen verwendeten wir das Perth-O-Meter (Hommelwerke, Mannheim-Käfertal). Das Perth-O-Meter gehört zur Klasse der Tastschnittgeräte, bei denen eine Tastspitze das Oberflächenprofil mechanisch abtastet. Die Bewegungen der Tastspitze beeinflussen einen elektro-mechanischen Wandler, durch den die kleinen Bewegungen der Tastspitze in elektrische Zustandsbilder umgeformt werden, die dann elektrisch verstärkt einem Oberflächen-Profilschreiber zur Aufzeichnung der vergrößerten Schnitte auf einem Papierstreifen zugeführt werden. Der Meßfühler ist also ein Längenfeintaster, der das Oberflächenprofil in einer fortlaufenden Längen- bzw. Tiefenmessung abfühlt. Ein solches Gerät bezeichnet man auch als Geometriegerät. Die Meßempfindlichkeit in der Vertikalebene liegt bei $0,01 \mu = 1 \text{ cm}$ im Meßdiagramm. Die folgenden Abbildungen zeigen Profilbilder; die Meßempfindlichkeit ist auf den Diagrammen eingezeichnet. (Abb. 2)









Ein Vergleich zeigt die großen Unterschiede in den einzelnen Oberflächenprofilen. Dabei kommt das Glas mit einer R_t von ungefähr 0,001 μ dem Ideal einer glatten Oberfläche am nächsten, während die Hostalenfolie eine sehr große Rauigkeit von 0,15 aufweist.

Mit Hilfe der Perth-O-Meter-Messung war es also möglich, die jeweils zu untersuchende Oberfläche zu bestimmen und sie ihrer Rauigkeit entsprechend zu ordnen.

Zur Charakterisierung der Oberfläche genügt aber die Festlegung der Rauhtiefe " R_t " nicht. Die Form der Unebenheiten ist weiterhin von wesentlicher Bedeutung zur Definition der Oberflächenbeschaffenheit. So muß man z. B. unterscheiden zwischen Welligkeit und Rillen, ferner zwischen spitzkämmigen und rundkämmigen Rillen, um nur eine kleine Anzahl der vielen möglichen Profilbilder zu nennen.

Abbildung 3

1. Wellen



2. ungleichmäßige,
dreieckige Rillen



3. ungleichmäßige,
spitzkämmige Rillen



In folgender Tabelle 2 wird versucht, das Profilbild der verschiedenen untersuchten Oberflächen kurz zu skizzieren. Gleichzeitig sind die Rauhtiefen angegeben. Die Bestimmung des Mittenrauhwertes " R_a " konnte vernachlässigt werden, da die Betrachtung der Meßdiagramme eine einfache Unterscheidung ermöglichte.

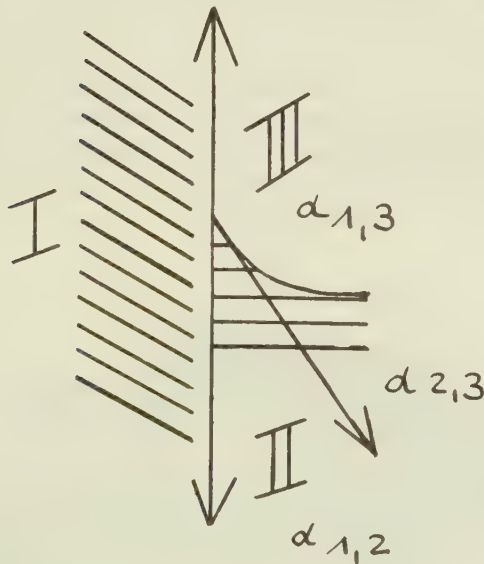
Tabelle 2

<u>Fläche</u>	<u>Rt in μ</u>	<u>Charakteristika</u>
1. Glas, silik.	0,002	ungleichmäßige, überwiegend spitzkämmige Rauigkeit
2. Bleikristall	0,03	a) relativ große Wellen b) ungleichmäßige, überwiegend spitzkämmige Rauigkeit
3. Plexiglas	0,02	a) grobe, relativ spitzkämmige Rillen b) ungleichmäßige, sehr feine spitzkämmige Rauigkeit
4. Hostalen	0,15	a) relativ große Wellen b) ungleichmäßige, vorwiegend spitzkämmige Rauigkeit
5. Gold	0,04	sehr unregelmäßige, teils spitzkämmige, teils wellige Rauigkeiten
6. Glas	0,001	sehr feine, an der Grenze der Meßbarkeit liegende, zum Teil spitzkämmige Rauigkeit
7. Chrom	0,02	überwiegend wellige Rauigkeit
8. Palliag	0,05	überwiegend spitzkämmige Rauigkeit mit großen, spitzkämmigen Rillen
9. Kristallglas	0,01	gleichmäßige, wellige Rauigkeit
10. Aluminium	0,04	ungleichmäßige, teils grobwellige, teils feinwellige Rauigkeit
11. Porzellan	0,14	grobe Wellen, feine wellige Rauigkeit

Neben der Bestimmung der Oberflächenstruktur galt es nun, die Benetzbarkeit der Materialien zu untersuchen; die Benetzbarkeit in absoluten Maßen zu messen und in einem zweiten Schritt die Oberfläche nach ihrer Benetzbarkeit zu ordnen, um in einem weiteren Teil der Arbeit die Beziehungen zwischen Benetzbarkeit, Rauigkeit und Ausbreitungsfähigkeit der Thrombocyten zu untersuchen.

In der Physik wird die Benetzbarkeit einer Oberfläche mit Hilfe des Randwinkels " γ " definiert. " γ " ist dabei der Randwinkel, den die Tangente - gelegt vom Fußpunkt an den Rand des Flüssigkeitsspiegels - mit der Flächenebene des festen Körpers bildet.

Abbildung 4



" γ " errechnet sich aus den drei Oberflächenspannungen $\alpha_{1,2}$ / $\alpha_{1,3}$ / $\alpha_{2,3}$, deren Vektoren im Punkte "M" ihren Ausgangspunkt nehmen, nämlich I = Gefäßwand, II = Flüssigkeit, III = Luft. Dabei wirkt $\alpha_{2,3}$ unter dem Winkel " γ " in der Richtung der Tangente an die Flüssigkeitsoberfläche in das Gefäß hinein. Die Festigkeit der Wand leistet dabei der waagerechten Komponente von $\alpha_{2,3}$ Widerstand, während die lotrechte Komponente $\alpha_{2,3} \times \cos. \gamma$ in Richtung der Wand wirkt.

M befindet sich nun im Gleichgewicht, wenn $d_{1,2} + d_{2,3} \times \cos \gamma = d_{1,3}$ ist. Folglich ist dann

$$\cos \gamma = \frac{d_{1,3} - d_{1,2}}{d_{2,3}}$$

Durch diese Gleichung wird der Randwinkel " γ " bestimmt, der eine für einen bestimmten Stoff feste Größe darstellt; d. h. " γ " würde sich nicht ändern, wenn die Gefäßwand so weit geneigt werden würde, daß die Flüssigkeit auf die feste waagerechte Fläche zu liegen käme, wie es z. B. bei einem Tropfen der Fall ist.

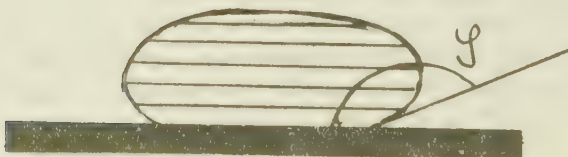
Benetzt die Flüssigkeit den festen Körper wie in Abbildung 4, dann nimmt der Tropfen die in Abbildung 5 abgebildete Gestalt an:

Abbildung 5



Wird die Unterlage dagegen nicht benetzt, so erhält man die in Abbildung 6 dargestellte Tropfenform, bei der der Randwinkel stumpf ist. (1) (7)

Abbildung 6



Peukert und Schneider (11) (12) gaben im Jahre 1938 ein Verfahren an, mit dem es gelang, durch Photomontage den Randwinkel " " mit einer Genauigkeit von 0,5 % zu messen. Dieses Verfahren wurde von den Autoren entwickelt, um in der Dermatologie die Benetzbarkeit der Haut messen zu können. Flüssigkeiten verschiedener Konzentration werden mit einer Eichpipette aus gleicher Höhe auf die zu untersuchende Hautstelle getropft; im Gegenlicht wird dann aus kurzer Entfernung der Tropfen als schwarzer Schatten fotografiert und auf den vergrößerten Aufnahmen der Winkel "γ" bestimmt (6).

Für unsere Messungen veränderten wir diese Versuchsanordnung geringfügig, indem wir auf jede zu untersuchende Oberfläche einen Tropfen aqua dest. aus gleicher Höhe aufbrachten (Tropfenvolumen = 0,3 ccm). Es ergab sich somit folgende Versuchsanordnung: siehe Abbildung 7.

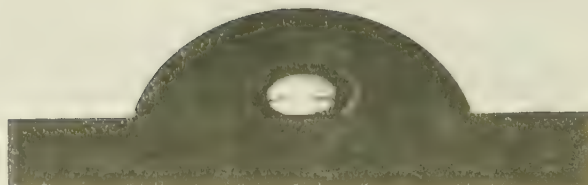
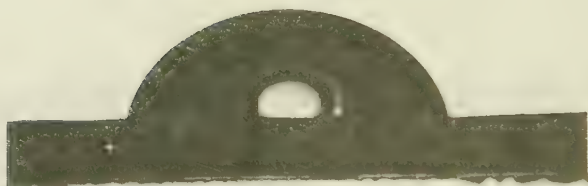
Abbildung 7

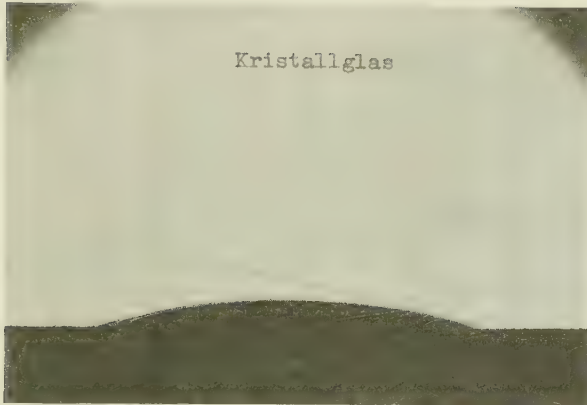


Verwendet wurde als Kamera eine Leica M 3 mit Visoflex I und Balgengerät I (Elmar 1:3,5, 65 mm), Belichtungszeit 1/15 sec., Blende 22. Die Entfernung zwischen Filmbene und Objekt betrug bei allen Aufnahmen 25 cm, der Abstand Objekt : Lichtquelle (500 Watt) 70 cm.

Mit den folgenden Aufnahmen wird die unterschiedliche Größe des Randwinkels "γ" auf vier verschiedenen Oberflächen demonstriert:

Abbildung 8





Aus diesen Messungen ergibt sich eine Benetzbarkeitsskala, die es gestattet, die Oberflächen folgendermaßen zu ordnen (Tab. 3):

Tabelle 3

<u>Fläche</u>	<u>Winkel "γ"</u>
1. Glas, silikonisiert	79, 0 Grad
2. Aluminium	71, 5 "
3. Chrom	67, 0 "
4. Plexiglas	64, 5 "
5. Gold	55, 0 "
6. Hostalenfolie	39, 0 "
7. Palliag	22, 5 "
8. Kristallglas	14, 5 "
9. Bleikristall	7, 0 "
10. Glas	7, 0 "
11. Porzellan	4, 0 "

IV.

Diese Benetzbarkeitsskala, zusammen mit der Tabelle 2 über die verschiedenen Rauhtiefen, dient uns nun in weiteren Versuchen als Grundlage, um zu versuchen, eine Beziehung zwischen Benetzbarkeit, Rauhtiefe und Ausbreitungsfunktion der Thrombocyten zu finden.

Wir gingen dabei folgendermaßen vor:

Ausbreitungstechnik: Modifizierte Methode nach Marx, Ibrom und Stanislawski (10) (s. Breddin und Bürck (4))
1 ml spontan sedimentierten Plasmas wird ein bis zwei Stunden nach Entnahme von Venenblut (Citratzusatz 1:10) bei strenger Silikon-technik mit einer Kochsalz-Citratmischung (9 Teile physiol. NaCl-Lösung 1 Teil einer 3,8 %-igen Na-Citrat-Lösung) im Verhältnis 1:10 gemischt. Alle zu untersuchenden Oberflächen werden dann in einer feuchten Kammer bei absoluter waagerechter Lage mit dem gewonnenen thrombocytenreichen Plasma für die Dauer von 30 Min. überschichtet. (Auf gleiche Shichthöhe des aufgebrachtten Plasmas wur-

de geachtet.) Danach erfolgte sorgfältiges Spülen der Präparate durch Eintauchen in eine Kochsalz-Citratmischung (1:10). Die ausbreiteten Thrombocyten werden dann durch Einbringen in Osmiumsäuredämpfe fixiert (10 Min.). (Wir konnten deshalb keine Metalloberflächen für unsere Versuche verwenden, die leicht von den Säuredämpfen angegriffen werden, z. B. Kupfer, Eisen, Silber, Messing etc., was in Vorversuchen getestet wurde.)

An den durchsichtigen Oberflächen erfolgte dann in 1/10 n Kaliumpermanganatlsg. die Oxydation der Zellen, um ihre Färbung mit Giemsa (1:10) für die Dauer von 60 Min. zu ermöglichen. Zwischen jedem Arbeitsgang und nach der Färbung Spülung mit aqua dest.

Die undurchsichtigen Oberflächen überschichteten wir dünn mit Cedukol (Merck), einer Celluloseacetatschicht, die sich nach ihrem Eintrocknen als Film wieder abziehen ließ. Dieser Celluloseacetatfilm wurde ebenfalls dem oben beschriebenen Färbeverfahren unterworfen.

In zahlreichen Versuchen hatten wir vorher festgestellt, daß sich praktisch alle Thrombocyten auf diese Weise von der untersuchten Unterlage abziehen lassen.

Das Arbeiten mit der Folie funktionierte ohne Schwierigkeiten, wenn man darauf achtete, daß das flüssige Celluloseacetat auf die völlig trockene Oberfläche gebracht wurde, da sich sonst eine dünne Wasserschicht zwischen Oberfläche und Folie bildete. Wichtig war weiterhin, die Folie ohne Luftblasen dünn aufzutragen, um eine einwandfreie Betrachtung unter dem Mikroskop zu ermöglichen. Außerdem bewährte es sich, die Folie besser über eine Oberflächenkante fortlaufen zu lassen, um auf diese Weise die Folie gut abziehen zu können. Die getrockneten Folien wurden dann mit Eukitt auf einem Objektträger unter einem Deckglas fixiert und ausgewertet.

Die Haftfähigkeit der Thrombocyten ist unabhängig von der Ausbreitungsfunktion. An einer geeigneten Oberfläche können alle Thrombocyten unausbreitet sein, obwohl sie zahlreich und

dicht an der Oberfläche haften, während sich auf anderen Oberflächen nur wenige ausgebreitete Thrombocyten bei geringer Haft-rate finden. Wir prüften deshalb die Haftdichte der Thrombocyten gesondert auf allen sechs untersuchten, durchsichtigen Oberflächen. Um auf diesen Oberflächen eine gleichmäßige Schichtdicke zu gewährleisten, tropften wir die gleiche Plasma-Citratmenge (7 Tropfen) in Hornringe (Durchmesser 8 mm), die fest gegen die Oberfläche gedrückt wurden, um ein Abfließen des Plasmas aus den Ringen zu vermeiden. Nach einer Ausbreitungszeit von 30 Min. in der feuchten Kammer wurde die Präparate wie oben beschrieben fixiert, gefärbt und dann ausgewertet.

Die Messung der Haft-rate erfolgte, indem bei einer Vergrößerung von 1:378 mit einem Zählnetz (entsprechend einer Fläche von 1/100 qmm) 10 solcher Felder ausgezählt wurden. Tabelle 4 zeigt die großen Unterschiede der Haft-rate unter gleichen Versuchsbedingungen auf den 6 Materialien, die sich durch verschiedene Rauigkeit und Benetzbarkeit ihrer Oberflächen auszeichnen.

Tabelle 4

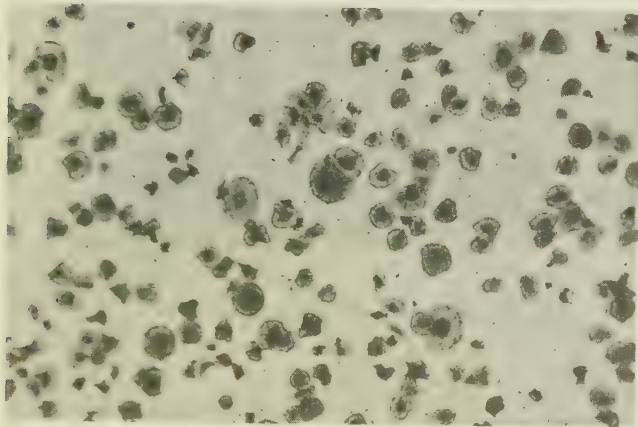
Haftdichte

<u>Flächen</u>	<u>10 Meßquadrate enthielten</u>
1. Glas, silikonisiert	864 Zellen
2. Plexiglas	690 "
3. Hostalenfolie	604 "
4. Glas	370 "
5. Bleikristall	344 "
6. Kristallglas	250 "

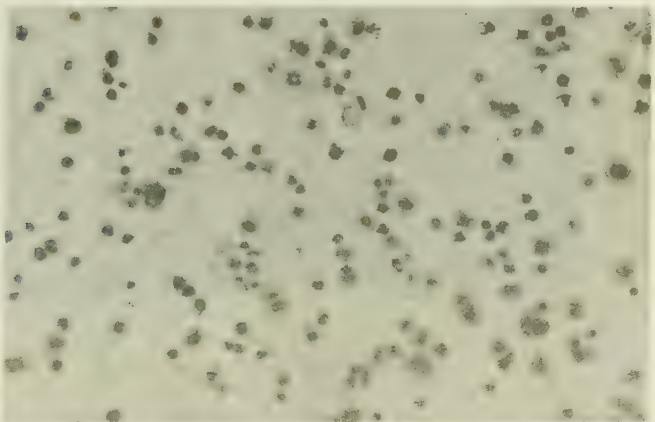
Die folgenden sieben Fotografien (Abbildung 9) zeigen die Ausbreitungsbilder an verschiedenen Oberflächen bei 560-facher Vergrößerung. Die tatsächlichen Unterschiede in der Haft-rate kommen

auf den vorliegenden Abbildungen nicht in allen Fällen richtig zur Darstellung, da bei der Auswahl der Abbildungen speziell Wert auf typische Ausbreitungsbilder gelegt wurde.

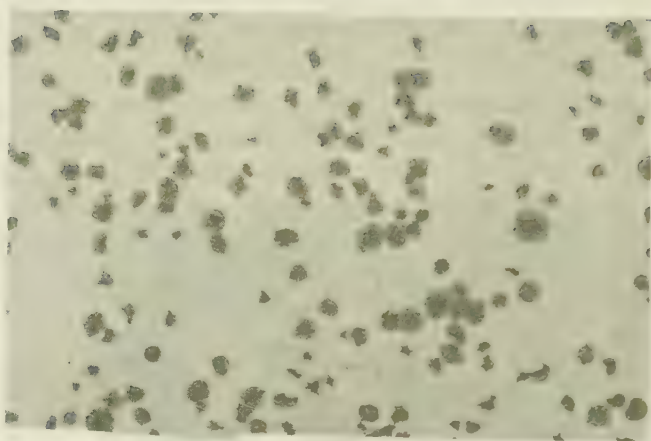
Abbildung 9



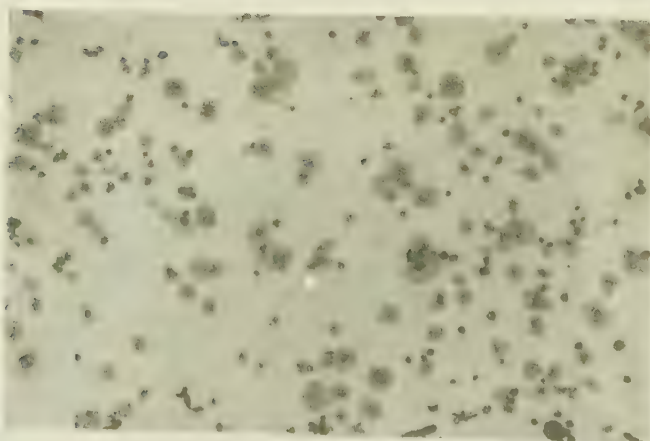
Glas,
silik.
560-f.
vergr.



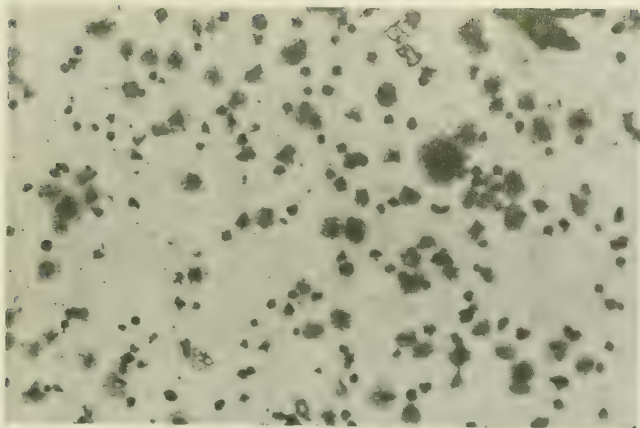
Bleikri-
stall,
560-f.
vergr.



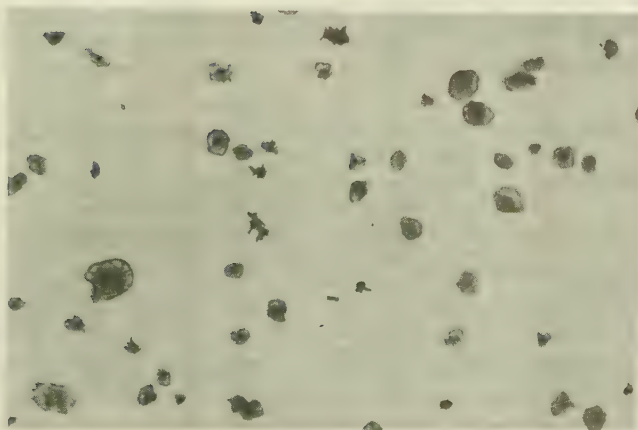
Plexiglas, 560-f. vergr.



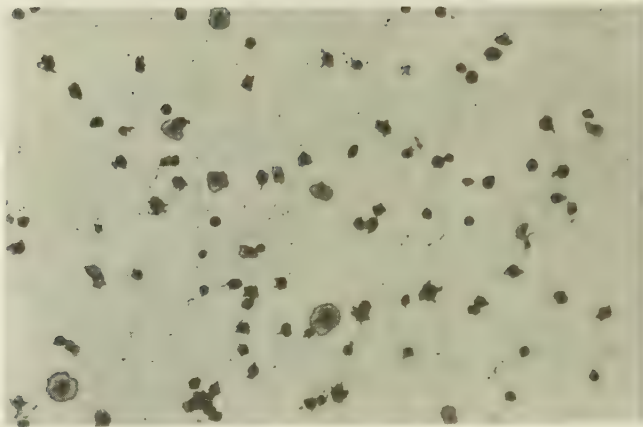
Gold, 560-f. vergr.



Hostalenfolie, 560-f. vergr.



Glas, 560-f. vergr.



Kristallglas, 560-f. vergr.

Für die Auswertung wurden möglichst viele Gesichtsfelder aus verschiedenen Stellen ausgezählt. In Anlehnung an Breddin und Bürck (4) unterschieden wir zwischen 3 Thrombocytenformen:

1. Ausbreitungsformen: (kleine, große und Riesenausbreitungsformen nach Breddin)
2. Übergangsformen: unvollständig ausgebreitete Thrombocyten, bei denen Fortsätze vorhanden sind, zwischen denen sich mehr oder weniger Hyalomere ausgebreitet hat.
3. Nicht ausgebreitete Thrombocyten: (Spinnen- oder Sternform = Thrombocyten ohne Ausbreitung mit einem bis mehreren, meist kurzen und relativ dicken, seltener fadenförmigen Fortsätzen; runde Formen - ohne Fortsätze, oft etwas gequollen)

Die Differenzierung der Ausbreitungspräparate ergab folgende Aufschlüsselung:

Tabelle 5

Oberflächen	ausge- brei- tete Throm- bocyt. in %	nicht ausge- breitete Throm- bocyt. in %	Über- gangs- formen in %
1. Glas, silikonisiert	72,0	13,6	14,4
2. Bleikristall	72,0	19,-	8,8
3. Plexiglas	69,8	19,8	10,4
4. Hostalenfolie	63,2	26,4	10,4
5. Gold	62,9	26,5	10,7
6. Glas	57,1	26,9	16,-
7. Chrom	55,8	31,3	12,9
8. Palliag	49,0	41,8	9,2
9. Kristallglas	41,4	50,-	8,6
10. Aluminium	15,1	82,5	2,4
11. Porzellan	8,1	91,-	0,7

V. Diskussion

Vergleicht man die Ausbreitungsrate der Thrombocyten mit der Benetzbarkeit der jeweils untersuchten Oberfläche, so ergibt sich, daß zwischen der Benetzbarkeit einer Oberfläche und der Ausbreitungsrate der Thrombocyten offensichtlich kein Zusammenhang besteht. Besonders eindrucksvoll spricht hierfür das Ergebnis der Ausbreitung an Bleikristall und silikonisiertem Glas. An diesen beiden Oberflächen wurde trotz größter Unterschiede in der Benetzbarkeit die gleiche Ausbreitungsrate von 72 % erzielt. Bezüglich der Rauhgigkeit der untersuchten Oberflächen ergab sich ebenfalls keine direkte Abhängigkeit der Ausbreitungsrate von den unterschiedlichen Rauhtiefen (Tabelle 6).

Tabelle 6

Oberflächen	Aus- brei- tung in %	Win- kel 	Rt 	Profil
1. Glas, silikonisiert	72,0	79,0	0,002	spitz
2. Bleikristall	72,0	7,0	0,03	spitz
3. Plexiglas	69,8	64,5	0,02	spitz
4. Hostalenfolie	63,2	39,0	0,15	spitz
5. Gold	62,8	50,0	0,04	spitz
6. Glas	57,1	7,0	0,001	spitz
7. Chrom	55,8	67,0	0,02	wellig- spitz
8. Palliag	49,0	22,5	0,05	spitz
9. Kristallglas	41,4	14,5	0,01	stumpf
10. Aluminium	15,1	71,0	0,04	stumpf
11. Porzellan	8,1	4,0	0,14	stumpf

Auch an einer relativ rauhen Fläche, wie sie die Hostalenfolie darstellt, mit einer Rt von ca. 0,15 , fand sich noch eine Ausbreitung von 63 %. Neben der Rauhtiefe Rt ist jedoch die Eigenschaft einer Oberfläche, wie bereits erwähnt, von einer Reihe anderer Faktoren abhängig. Die Betrachtung der Profilbilder, der von uns untersuchten Oberflächen zeigt nun eine auffällige Übereinstimmung zwischen der Ausbreitungstendenz der Thrombocyten und der feineren Oberflächenstruktur.

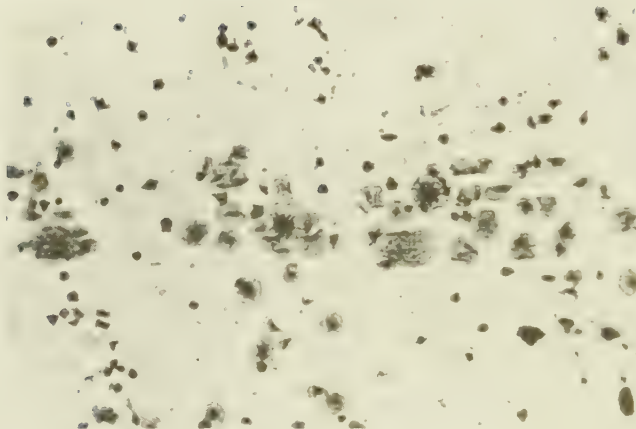
Die drei Flächen mit der schlechtesten Ausbreitung zeigen sämtlich eine vorwiegend wellige Rauigkeit, während die Flächen mit mäßig guter Ausbreitung eine teils wellige, teils spitzkämmige Rauigkeit aufweisen. Die Flächen mit der besten Ausbreitungstendenz zeigen dagegen eine überwiegend spitzkämmige Rauigkeit. Zur Verdeutlichung haben wir in Tabelle 7 die Oberflächencharakteristika und die Ausbreitungstendenz einander gegenübergestellt.

Tabelle 7

Oberflächen	Ausbreitung in %	Charakteristika
1. Glas, silikonisiert	72,0	ungleichmäßige, überwiegend spitzkämmige Rauigkeit
2. Bleikristall	72,0	a) relativ große Wellen b) ungleichmäßige, überwiegend spitzkämmige Rauigkeit
3. Flexiglas	69,8	a) grobe, relativ spitzkämmige Rillen b) ungleichmäßige, sehr feine spitzkämmige Rauigkeit
4. Hostalen	63,2	a) relativ große Wellen b) ungleichmäßige, vorwiegend spitzkämmige Rauigkeit
5. Gold	62,8	sehr unregelmäßige, teils spitzkämmige, teils wellige Rauigkeit
6. Glas	57,1	sehr feine, an der Grenze der Meßbarkeit liegende, zum Teil spitzkämmige Rauigkeit
7. Chrom	55,8	überwiegend wellige Rauigkeit
8. Palliag	49,0	überwiegend spitzkämmige Rauigkeit mit großen spitzkämmigen Rillen
9. Kristallglas	41,4	gleichmäßige, wellige Rauigkeit
10. Aluminium	15,1	ungleichmäßige, teils grobwellige, teils feinwellige Rauigkeit
11. Porzellan	8,1	grobe Wellen, feine wellige Rauigkeit

Die Tatsache, daß sich Thrombocyten an feinen, spitzkämmigen Rauigkeiten ausbreiten, ist uns mehrfach aufgefallen anhand von Kratzern in Präparaten von verschiedenen Oberflächen. Als Beispiel zeigt die Abbildung 9 die vermehrte Ausbreitung gegenüber der Umgebung an einer Kristallglasfläche im Bereich einer einige Zentimeter langen Kratzspur.

Abbildung 9



Bezüglich der Haftneigung der Thrombocyten fanden wir eine weitgehende Abhängigkeit von der Benetzbarkeit der untersuchten Oberflächen. Wie aus Tabelle 8 zu entnehmen, steigt die Haftneigung der Thrombocyten mit zunehmender Benetzbarkeit deutlich an:

Tabelle 8

Oberflächen	Haftdichte	Winkel θ	Rt μ
1. Glas, silikonisiert	864	79,0	0,002
2. Plexiglas	690	64,5	0,02
3. Hostalenfolie	609	39,0	0,15
4. Glas	370	7,0	0,001
5. Bleikristall	344	7,0	0,03
6. Kristallglas	250	14,0	0,01

Zwischen der Rauhgigkeit und der Haftneigung besteht offenbar keine Beziehung. Die Leitfähigkeit und Ionisation lassen sich als Faktoren von Bedeutung für die Ausbreitung aufgrund unserer bisherigen Untersuchungen ausschließen. Gold als guter Leiter zeigt neben dem nicht-leitenden Glas oder Plexiglas eine erhebliche Ausbreitungsrate.

Zum Schluß möchten wir das Ergebnis unserer Untersuchungen folgendermaßen zusammenfassen:

1. Die Ausbreitungsfähigkeit der Thrombocyten ist nicht abhängig von der Benetzbarkeit oder der Rauhtiefe der verwendeten Oberfläche.
2. Entscheidend für die Ausbreitungstendenz ist offenbar das Vorhandensein einer feinen, spitzkämmigen Rauhgigkeit in der Größenordnung von 0,02 bis 0,04 μ .
3. Die Haftneigung der Thrombocyten ist weitgehend abhängig von der Benetzbarkeit der verwendeten Oberfläche.
4. Das silikonisierte Glas stellt unseres Erachtens eine ideale Oberfläche zur Messung der Ausbreitungsfähigkeit der Thrombocyten dar, da eine geringe Benetzbarkeit eine große Haftneigung bedingt, und da seine feine, spitzkämmige Rauhgigkeit, die offenbar erst durch das Silikonisieren entsteht, die Ausbreitung wesentlich begünstigt.

VII. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde der Versuch gemacht, eine Beziehung zwischen Ausbreitungsfähigkeit und Haftneigung menschlicher Thrombocyten und den physikalischen Eigenschaften blutfremder Oberflächen zu finden.

Es ergab sich, daß unter den von uns gewählten Versuchsbedingungen die Ausbreitungsfähigkeit der Thrombocyten unabhängig ist von der Benetzbarkeit und von der Rauhtiefe der untersuchten

Oberflächen. Die Oberflächenstruktur wurde mit Hilfe eines Oberflächenprofilschreibers (Perth - 0 - Meter), welches vorwiegend in der Technik Verwendung findet, bestimmt.

Die Benetzbarkeit wurde durch Messung des Randwinkels θ " an einem Standardtropfen auf der jeweils zu untersuchenden Oberfläche ermittelt.

Der wesentliche Faktor für die Ausbreitungsfähigkeit scheint in der Feinstruktur der Oberfläche begründet zu sein. Das Vorhandensein einer möglichst gleichmäßigen, spitzkämmigen Rauigkeit in einer Größenordnung von $0,02 - 0,04 \mu$ Höhe dürfte die wesentliche Voraussetzung für die Ausbreitungsfähigkeit sein.

Die Haftneigung der Thromboocyten ist weitgehend von der Benetzbarkeit abhängig, sie nimmt mit abnehmender Benetzbarkeit zu. Silikonisiertes Glas führt durch seine Unbenetzbarkeit zu einer verstärkten Haftneigung der Blutplättchen. Durch das Silikonisieren wird eine gleichmäßige feine Rauigkeit erzeugt, die die Ausbreitung der Thrombocyten wesentlich fördert.

- - -

LITERATURVERZEICHNIS

1. Bergmann, L.
Schaefer, C. L. Lehrbuch der Experimentalphysik,
Band I, 5. Auflage 1958, S. 323,
Greyter & Co., Berlin 1958.
2. Braunsteiner, H. Über Morphologie, Physiologie und
Pathologie der Thrombocyten,
Kli. Wo. 1951, S. 835.
3. Braunsteiner, H. Thrombopathie und Thrombasthenie,
Beih. zu Wien. Z. Innere Med. 36 (1955).
4. Breddin, K.
Bürck, H. Zur Klinik der Thrombocytenfunktions-
störungen unter besonderer Berücksich-
tigung der Ausbreitungsfähigkeit der
Thrombocyten an silikonisierten Glas-
flächen, Thromb. Diath. haem. in Druck.
5. DIN 4762 DIN 4762, Bl. 1. Aug. 1960.
6. Greuer, W. Diagnostische und therapeutische Tech-
nik bei Haut- und Geschlechtskrankhei-
ten, 2. Auflage, S. 46, 47, Ambrosius
Bärth Verlag, Leipzig 1960.
7. Grimsehl-Tomaschek Lehrbuch der Physik, Band I, S. 278,
B. G. Teubner, Leipzig 1936.
8. Köppel, G. Elektronenoptische Untersuchungen zur
Funktionsmorphologie der Thrombocyten
und zum Gerinnungsablauf im normalen
menschlichen Nativblut, Z. Zellforsch.
47. 40 (1958).
9. LPW-Taschenbuch für 10. Ausgabe 1961, S. 684, Eigenverlag
Galvanotechnik der Langbein-Pfannhauser-Werke AG.,
Neuß/Rhein.
10. Marx, R.
Ibrom, H.
Stanislawi, K. Die Färbung folien- und glasadhaerenter
ausgebreiteter Thrombocyten. Ein Ver-
fahren zur verbesserten lichtmikrosko-
pischen Thrombocytenanalyse, Blut VI,
335-338 (1960).
11. Peukert, Arch. Gewebepath. 10. (1940) 53,
zitiert bei Greuer.
12. Peukert, Arch. Gewebepath. a (1938) 288,
Schneider zitiert bei Greuer.

Mein aufrichtiger Dank gilt Herrn
Dr. med. Klaus Breddin für die
Überlassung des Themas dieser
Arbeit und für seine wertvollen
Anregungen sowie seine bereit-
willigste Unterstützung bei
allen meinen Arbeiten.

Den HOMMELWERKEN, Mannheim-Käfertal,
besonders Herrn Dr. Wolff, danke ich
für die großzügige Unterstützung bei
den Oberflächenmessungen.

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, daß ich die der Medizinischen Fakultät Frankfurt/Main zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel " Ausbreitungsfunktion und Haftfähigkeit der Thrombozyten in Abhängigkeit von den physikalischen Eigenschaften blutfremder Oberflächen " in der I. Medizinischen Universitätsklinik zu Frankfurt/Main unter der Leitung von Privatdozent Dr. Rolf Heinecker und Dr. Klaus Breddin ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keiner in- und ausländischen Medizinischen Fakultät ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht noch die vorliegende Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Frankfurt/Main, den 20. Mai 1963

Dr. Jürgen Holl

gez. Dr. Jürgen Holl

Lebenslauf

Geboren am 15. August 1934 in Wilhelmshaven als drittes Kind des Zollinspektors Ernst Holl und seiner Ehefrau Käthe Holl, geb. Kock, wurde ich im Herbst 1941 in Stade eingeschult und besuchte bis zum Frühjahr 1946 die dortige Volksschule. Dann wurde ich Schüler des Athenaeums Stade und entschied mich für die humanistische Ausbildung, die ich am 2. April 1955 mit dem Reifezeugnis abschloß.

Mit dem Sommersemester 1955 begann ich das Studium der Zahnmedizin an der Universität Hamburg. Im Herbst 1957 bestand ich hier die zahnärztliche Vorprüfung und ein Semester später die ärztliche Vorprüfung. Anschließend studierte ich weiter Zahnmedizin und Medizin und bestand am 22. Juni 1960 vor dem Prüfungsausschuß der Universität Hamburg das zahnärztliche Staatsexamen. Mit einer Arbeit über Tumordokumentation und Nachsorge Geschwulstkranker an der Nordwestdeutschen Kieferklinik promovierte ich am 29.05.1961 zum Dr. med. dent.

Im Herbst 1961 arbeitete ich für drei Monate als "Intern" im Elgin-General Hospital in St. Thomas, Ontario, Kanada. Das medizinische Studium setzte ich dann an der Universität Frankfurt/Main fort und bestand hier am 28. Februar 1963 die ärztliche Prüfung.

Verheiratet bin ich seit dem 3. Januar 1962.

- - -

Meine akademischen Lehrer waren:

Universität Hamburg:

Die Professoren Bautzmann, Berg, Bramstedt, Brosch, Dietel, Dunker, Fabian, Ferner, Franke, Fritz, Fühner, Harmsen, Hausser, Herzberg, Jores, Kimmig, Kosswig, Krauspe, Kühnau, Lindenschmidt, Luckner, Malorny, Menzel, Meyer-Rohn, Mevius, Mittelstraß, Mond, Neuert, Nowakowski, Prévôt, Remy, Soehring, Schlubach, Schubert, Schuchardt, Staubesand, Stelzner, Wulf, Zeiger, Zukschwerdt, sowie die Privatdozenten Berger, Harders, Höhne, Pließ, Remy, Ritze, Schloßhauer, Thies und Vosteen.

Universität Frankfurt/Main:

Die Professoren Artelt, Betke, de Rudder, Frey, Frick, Geißendörfer, Güntz, Heller, Herzberg, Hoff, Kahlau, Käser, Mittermaier, Rajewsky, Rotter, Sandritter, Schwenzer, Thiel, Ungeheuer, Weiße, Zutt, sowie die Privatdozenten Lieb, Weber und Westermann.

